

REEMPLOI DE MATERIAUX LOCAUX EN ZONE ARIDE CAS DE L'AUTOROUTE SKHOUR RHAMNA - MARRAKECH

I. SERGHINI

Direction de Développement, Autoroutes du Maroc, Maroc

SERGHINI.IHAB@ADM.CO.MA

RÉSUMÉ

L'autoroute Skhour Rhamna – Marrakech (84km) située en zone aride dans un climat chaud et sec, présente un tracé majoritairement en remblai nécessitant le recours à plus de 4 Mm³ de matériaux d'emprunt locaux. Les matériaux des déblais ou d'emprunts ont un état hydrique très sec (1 à 2% de teneur en eau) et des fractions de fines élevées après extraction n'autorisant pas leur réemploi en remblai en l'état selon les référentiels techniques et guides existants. L'humidification ou la recherche de matériaux squelettiques était techniquement nécessaire. Les nappes phréatiques rares avaient été préservées au profit des riverains ainsi que la minimisation des impacts sur le paysage (limitation des dépôts et emprunts). Le transport lointain de 1,5Mm³ d'eaux était économiquement injustifié.

La protection de l'environnement et l'absence de référentiel adapté conduit à l'édification de 10 Mm³ remblais dans des conditions techniques inédites, avec des matériaux issus des déblais moyennant un encagement latéral des matériaux fins par des éléments squelettiques assurant une sécurité pour la stabilité et l'érodabilité des remblais ; et l'étanchéification du TPC visant la minimisation d'infiltrations dans le remblai.

Les objectifs de minimisation des impacts sur l'environnement semblent atteints, les coûts de construction et les délais de réalisation maîtrisés.

1. PRESENTATION DU PROJET

L'axe autoroutier SETTAT – MARRAKECH s'intègre dans la logique de la liaison AGADIR– MARRAKECH – CASABLANCA – RABAT – TANGER – EUROPE & Autoroute Trans-Maghrébine. Cette liaison placera le Maroc à un carrefour d'échanges entre les différents pays du Maghreb, mais aussi entre le Sud de l'Europe et le Nord de l'Afrique.

Cet axe s'inscrit par ailleurs dans le Schéma d'Armature Autoroutier National (S.A.A.N) et constitue un lien entre deux régions stratégiques du pays que sont le Centre et le Sud.

Le tronçon SKHOUR RHAMNA – MARRAKECH, vient compléter et poursuivre le tronçon SETTAT – SKHOUR RHAMNA réalisé en parallèle.

En phase travaux, trois sections composaient cette liaison :

Section 3 : SKHOUR RHAMNA – BENGUERIR longue de 31,100 Kms

Section 4 : BENGUERIR – PK 30 longue de 30,000 Kms

Section 5 : PK 30 – MARRAKECH longue de 22,700 Kms

La construction de cette infrastructure permettra essentiellement:

- Le désenclavement des provinces du Centre et des zones rurales par rapport au reste du Royaume.

- La participation au développement industriel et touristique de la région de Marrakech, en cours actuellement.

Les travaux ont démarré Mi 2004 dans l'objectif de mettre en service début 2007.

Au niveau des terrassements les quantités globales réalisées sont récapitulées dans le tableau ci après :

« Tableau 1 – Quantités des terrassements »

<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
<i>Déblai</i>	<i>M³</i>	<i>8 900 000</i>
<i>Remblai</i>	<i>M³</i>	<i>9 500 000</i>
<i>Emprunts</i>	<i>M³</i>	<i>4 500 000</i>
<i>Dépôts</i>	<i>M³</i>	<i>2 500 000</i>

2. PRINCIPES RETENUS EN PHASE CONCEPTION

2.1 Aperçus géologiques et géotechniques

Lors de l'élaboration des études, en phase de conception, il a été procédé pour les besoins des terrassements à une première campagne géotechnique par carottages et puits manuels afin de :

- déterminer les natures de matériaux rencontrés
- définir les conditions de réemploi des déblais et notamment l'évolution de la fraction fine
- affiner le calage du projet en conséquence (recherche équilibre déblai / remblai)
- procéder à la définition des besoins en matière d'emprunt de matériaux
- en déduire une stratégie à tenir dans le cadre de la finalisation du projet d'exécution et des DCE.

2.1.1 Sections Skhour Rhamna/Benguerir et Jbilet/Marrakech

Ces deux sections correspondent respectivement à la première partie du projet (30Km) et la dernière partie (17Km). Les formations rencontrées sont constituées de schistes métamorphiques indurés avec des passages ponctuels de quartzitique et de dolérite. Elles sont recouvertes de schistes altérés meubles.

A l'état naturel avant l'extraction, ces matériaux sont classés en R62 et R63 selon le GTR [1].

2.1.2 Section Benguerir / Jbilet :

Les matériaux rencontrés au niveau de cette section (partie centrale : 37Km) sont constitués de calcaire, de marno-calcaire avec des passages de matériaux tuffacés. On rencontre souvent un encroûtement calcaire et une alternance de faciès calcaire dur et des calcaires tuffacés.

Ces formations sont recouvertes par des colluvions et dépôts quaternaires qui se présentent sous forme de grave limoneuse.

Les schistes altérés se trouvent en profondeur et ne sont pas atteints au niveau des terrassements généraux des déblais. On les rencontre au niveau d'un emprunt situé au milieu de cette partie à une profondeur de 4 à 5m par rapport au terrain naturel.

Les matériaux calcaires avant l'extraction sont classés en R21 et R22 selon le GTR [1]. La majorité des matériaux extraits au ripper ou à l'explosif sont classés en CiBi.

2.2 Aspect climatologique

La section autoroutière entre Skhour Rhamna et Marrakech se situe dans une zone à climat sub-saharien où la pluviométrie est de l'ordre de 300mm voir 200mm par an concentrée pendant la saison froide de Septembre à Mai, avec une évaporation très importante (voir Tableau 2).

Les contrastes thermiques sont importants, avec une température moyenne annuelle d'environ 20°C et des extrêmes pouvant aller de -3°C à +48°C.

De plus, les nappes phréatiques sont très profonde (parfois > 120m) avec des débits très variables ne pouvant pas satisfaire les besoins en eau d'arrosage et humidification de plusieurs millions de mètres cubes de matériaux de remblai. A noter que le premier tronçon du projet (31Km) n'intercepte aucune nappe et que seule une nappe assez importante est rencontrée au niveau de la fin du deuxième tronçon mais à des profondeurs dépassant les 40 m.

« Tableau 2 – Récapitulatif des précipitations de 1985 à 2004 dans la zone. »

MOIS	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	TOTAL
TOTAL MENSUEL	610	547	825	527	173	108	7	45,5	153	370	581	545	4494
MOYENNE MENSUELLE	30,5	27,4	41,3	26,4	8,7	5,4	0,3	2,2	7,6	18,5	29	27,3	224,7

2.3 Dispositions retenues

Compte tenu de ces aspects géotechnique et climatologique et bien que les matériaux rencontrés soient dans un état hydrique très sec (1à 2% pour l'essentiel) il a été nécessaire de privilégier leur réemploi en leur état initial.

En l'absence de référentiel technique et d'expérience antérieure probante, les prescriptions techniques ont dû être élaborées spécifiquement pour ce projet.

En effet, il s'agissait d'appliquer en zone aride et à une infrastructure autoroutière une technique déjà utilisée en zone désertique sur des remblais de faible hauteur (3m), et pour des routes de standard courant.

- Au Maroc, les résultats des expériences passées sont rapportés dans la publication

»Routes en milieu désertique – l'expérience marocaine – titre 3- chapitre2.1- « .

D'où la problématique posée par le projet qui présente des remblais de hauteur moyenne de 8m et qui atteignent pour certains 20m de hauteur. Des dispositions techniques spécifiques ont été ainsi arrêtées suite à la réalisation d'une planche d'essai expérimentale en vraie grandeur pour le compactage à sec des matériaux du site, en phase études. Elles portent essentiellement sur :

- Pour les matériaux de classe R62 et R63 :
 - la mise en œuvre sans humidification (sec à très sec) en couches peu épaisses , limitées à 40 cm en remblai et à 25 cm en PST

- l'application d'une énergie de compactage intense, au sens du GTR
- la limitation de la granulométrie à 0/250 mm en remblai et 0/150 mm en PST
- la limitation de la fraction fine à 30 %
- une épaisseur de 80 cm de PST dont la dernière couche (25 cm) est constituée de matériaux insensibles à l'eau mis en œuvre à l'état « m »

Ces spécifications ont été déterminées à la suite d'une planche expérimentale réalisée avec des matériaux de classe R6 extraits par minage du déblai 1 de la première section.

L'application de ces spécifications est à confirmer par des planches d'essais à réaliser au début des travaux.

- Pour les autres matériaux rencontrés :

Utilisation en l'état sous réserve de planche d'essai fixant les modalités de mise en œuvre

- Les pentes des talus sont fixés à 2H/1V pour les remblais >10m et 3H/2V pour les autres.

3. ADAPTATIONS APPORTEES EN PHASE REALISATION

3.1 Reconnaissance géotechnique complémentaire :

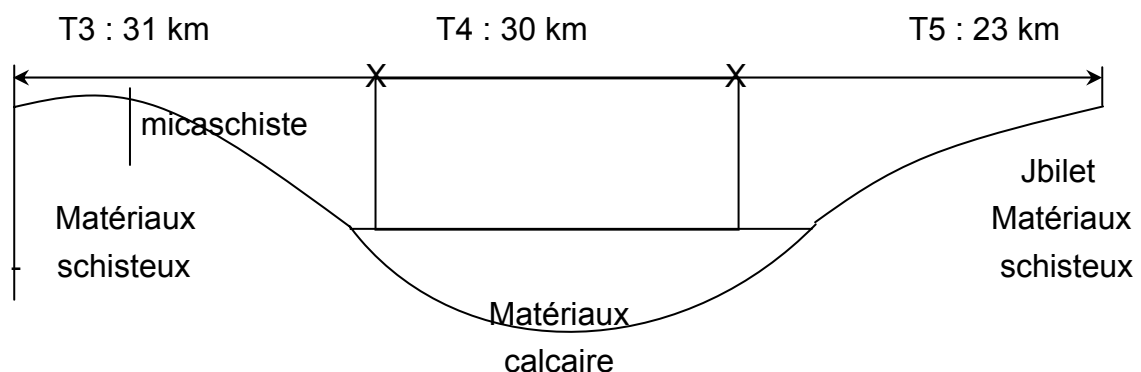
Au démarrage des travaux, lors de la phase de préparation, une campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire a été menée afin notamment de :

- s'assurer de la conformité des matériaux aux dispositions prévues par les clauses contractuelles et l'étude.
- s'assurer de leur aptitude au réemploi dans les conditions des spécifications techniques.
- établir un projet de mouvement des terres.

Les formations rencontrées sont conformes aux résultats de l'étude géotechnique initiale sur toute la section sauf au niveau de la partie comprise entre PK 10 et 31 du tronçon Skhour-Benguérir où on note la présence de micascistes friables avec des passages d'argile rouge et tuf altéré par le micasciste.

Les matériaux rencontrés sont tous à l'état hydrique sec à très sec (1à3%) et sont essentiellement classés C1B5 après extraction voir C1Ai localement.

En synthèse le profil géotechnique se résume ainsi :



« Figure 1 – Profil géotechnique »

3.2 Planche d'essai de mise en oeuvre

Plusieurs planches d'essais de mise en oeuvre ont été réalisées dans le but de définir les objectifs de densification maximum de compactage des remblais et la fixation d'un Q/S objectif à prendre comme référence pour la réalisation des remblais de l'autoroute.

Le principe d'exécution de la planche d'essai consiste à compacter les matériaux par l'application de l'énergie de compactage relative au cas le plus voisin, en terme de la classification GTR du matériau concerné.

L'énergie de compactage est augmentée ensuite paliers successifs de deux passes jusqu'à ce que les matériaux en place atteignent le seuil de leur compacité maximale qui se traduit soit par la chute de la portance EV2, soit par une évolution faible de cette dernière malgré l'augmentation de l'énergie de compactage.

L'évolution de la portance a été considérée faible lorsque la moyenne des portances mesurées entre trois énergies de compactage successives évolue de moins de 10% lorsqu'on passe à l'énergie supérieure.

3.3 Résultats de la planche d'essai

Les planches d'essai ont été réalisées moyennant l'exécution d'un massif de 1,20m (1,50m foisonné) réalisé en trois couches successives de 0,40m chacune avec un cylindre vibrant V5.

Le diamètre maximum des matériaux ne doit pas dépasser 250 mm. Pour atteindre cet objectif, il a été procédé à la réalisation de plusieurs planches expérimentales de tir avec des maillages différents visant à réduire au maximum la dimension des blocs.

3.3.1 Identification des matériaux avant compactage

Les résultats des essais d'identification des matériaux de remblai avant compactage se résument ainsi : (exemple des matériaux issus des déblais D1 et D8).

« Tableau 3 – Identification des matériaux avant compactage »

Désignation: schistes du D1	Granulométrie				VBS	Wnat	Classe GTR
	% < 0,08 mm	% < 2 mm	% < 50 mm	Dmax Mm			
1 ^{ère} couche	12,2	28,5	61	240	0,18	3	C1B5
2 ^{ème} couche	14,7	31,5	58	220	0,18	2,2	C1B5
3 ^{ème} couche	13	27,3	77	250	0,23	2,1	C1B5
Moyenne	13	29,1	65	–	0,2	2	C1B5
Désignation: micaschistes du D8	Granulométrie						
	% < 0,08 mm	% < 2 mm	% < 50 mm				
Avant compactage	2 à 6	6 à 23	50 à 68				

3.3.2 Suivi de portance

Les mesures de portance ont été effectuées au niveau de chaque couche et pour chaque énergie testée.

Les résultats des moyennes obtenues sont consignés dans le tableau suivant :

« Tableau 4 – Suivi des portances »

Désignation: schiste du D1	6 passes		8 passes		10 passes	
	EV2 (MPa)	K	EV2 (MPa)	K	EV2 (MPa)	K
1 ^{ère} couche	117	3,23	136	2,89	107	2,8
2 ^{ème} couche	135	2,27	106	3,4	116	4,2
3 ^{ème} couche	124	2,34	90,2	2,8	96	3,1
Moyenne	125	2,6	111	3	106	3,4
Désignation: micaschiste du D8	6 passes		8 passes		10 passes	
	EV2 (MPa)	K	EV2 (MPa)	K	EV2 (MPa)	K
Moyenne	37	2,3	38	2,37	35	2,9

On note que les valeurs de EV2 obtenus pour 8 et 10 passes sont relativement proches avec une légère chute de portance et permet de retenir 8 passes. Compte tenu de l'état de surface de la couche compactée (formation d'une pellicule de matériaux fins), la mesure du rapport K n'est pas significative.

3.3.3 Identification des matériaux après compactage

Trois tranchées ont été ouvertes après l'achèvement de la réalisation de la planche d'essai. Ces tranchées ont pour objectif de faire un constat sur le serrage du matériau et le prélèvement d'échantillon pour identification.

Les résultats des essais d'identification sont reportés sur le tableau suivant :

« Tableau 5 – Identification des matériaux après compactage »

Désignation : schiste du D1	Granulométrie				VBS	1 Classe GTR
	% < 0,08 mm	% < 2 mm	% < 50 mm	Dmax Mm		
1 ^{ère} tranche	17,3	38	66,3	240	0,22	C1B5
2 ^{ème} tranche	15,6	36,5	63,5	250	0,24	C1B5
3 ^{ème} tranche	16,9	29,5	66,1	270	0,3	C1B5
Moyenne	16,4	34,7	65,3	–	0,25	C1B5
Désignation: micaschistes du D8	Granulométrie					
	% < 0,08 mm	% < 2 mm	% < 50 mm			
Après compactage	9 à 13	32 à 42	75 à 80			

Au vu de ces résultats on note une légère évolution de la granulométrie de l'ordre de 3% au niveau des passants à 0,08mm et de 6% au tamis de 2mm dans le cas des schistes du déblai D1.

Dans le cas des micaschistes, on observe davantage d'évolution, de l'ordre de 7 % au niveau des passants à 0,08mm et de 25 % au tamis de 2 mm.

3.3.4 Synthèse

- Les matériaux extraits des schistes sains minés et compactés à l'état très sec présentent après mise en œuvre une portance satisfaisante pour un remblai ordinaire et une légère évolution granulométrique.
- Le matériau compacté présente un bon serrage (constat fait après l'ouverture des tranchées).
- Le nombre de passes à retenir est de 8 passes d'un cylindre vibrant V5 et 40cm d'épaisseur ($Q/S_{obj} = 0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2$).
- Les matériaux de type micaschistes présentent une forte évolution granulométrique et des niveaux de portance faibles.



« Photo 1 – Micaschistes à l'extraction sur la section3 »



« Photo 2 – Schistes sains de la section 3 en remblai »



« Photo 3 – Micaschistes de la section 3 en remblai »

3.4 Problèmes techniques rencontrés

Le compactage à sec des matériaux de remblai à l'état sec à très sec présente des problèmes techniques au niveau de la stabilité des remblais lors d'une humidification ultérieure à la mise en service. Le risque encouru est fonction de la qualité des matériaux mis en œuvre, notamment de la proportion des éléments inférieurs à 2 mm et de la hauteur du remblai.

3.4.1 Données du terrain :

Section 3 :

- Les matériaux des déblais minés du début de la section présentent dans leur majorité des schistes indurés classés en C2B4 à C2B5 à l'extraction ayant un pourcentage de passant à 2 mm inférieur à 30% et par conséquent charpentés ayant un comportement de type granulaire.
- Les matériaux du reste des déblais sont des micaschistes friables extraits au ripper et présentent un pourcentage de passant à 2 mm supérieur à 30% et par conséquent des matériaux non charpentés, ayant un comportement de sols fins, qui évoluent beaucoup sous l'effet de compactage.

Section 4:

- A l'exception des calcaires du lutécien et des calcaires marneux, ce lot ne dispose pas de matériaux réutilisables.
Les formations du quaternaire sont des limons argileux plus au moins graveleux avec localement une couverture tufeuse (matériau difficilement réutilisable à l'état très sec en raison de l'absence de cimentation et de l'effet de l'énergie de compactage qui tend à le déstructurer plutôt que le serrer).

Section 5:

- La majorité des remblais sont réalisés avec des matériaux minés (schistes indurés) ayant un pourcentage de passants à 2 mm inférieur à 30% et par conséquent charpentés.

3.4.2 Analyse des risques

La mise en œuvre de matériau à l'état très sec comporte trois risques principaux lors d'une imbibition :

- Effondrement ou gonflement du remblai.
- Stabilité des talus de remblais vis-à-vis de glissement de surface et de l'érosion (action de l'eau et du vent).
- Perte de portance de l'arase des terrassements.

Ces problèmes apparaissent surtout pour les matériaux dont la fraction fine évolue fortement au compactage et devient significative à tel point qu'elle gouverne le comportement global du matériau.

Il faut ajouter à cela, les cycles de séchage et de mouillage des talus qui peuvent être à l'origine de désordre (reptation, formation de fissures de traction ... etc).

3.4.3 Investigations complémentaires :

Des essais de chargement in-situ ont été réalisés permettant de donner une idée sur le comportement des remblais.

Ils consistent à appliquer par l'intermédiaire d'une plaque (\varnothing 75cm), une contrainte connue sur le remblai, puis à saturer et examiner les déformations résultantes.

Les résultats de ces investigations se résument comme suit :

- Les remblais en schistes indurés ayant moins de 30% de passants à 2mm et un $D_{max} < 250$ mm réalisés jusqu'à 7m de hauteur accusent des déformations très faibles. Les remblais déjà réalisés avec ces matériaux ne présentent aucun problème.
- Les remblais en micaschistes : les matériaux sont très fins (D_{max} de l'ordre de 63 mm) et les passants à 2 mm de l'ordre de 50%. Les gonflements apparaissent à partir de 3m de hauteur de remblai au niveau de la partie supérieure du remblai et des talus. De plus, étant donnée la plasticité très faible, il y a un risque d'érosion des talus.
- Les matériaux fins et colluvions limoneux (grave limoneuse) ayant plus de 30% de passant au tamis de 2mm et un D_{max} de l'ordre de 100mm ont abouti aux mêmes conclusions que les micaschistes ; c'est-à-dire que la hauteur du remblai doit se limiter à 3m.
- Les matériaux tufeux accusent des tassements sous de faibles hauteurs.

Pour évaluer ces risques, des expertises et études complémentaires ont été menées, lesquelles ont abouti aux dispositions suivantes:

- Les schistes rencontrés aux extrémités de la section, sur environ 26 km cumulé : aucune disposition particulière n'est à prendre, les spécifications du CCTP sont adéquates et ne nécessitent pas de compléments techniques.
- Concernant la partie centrale , soit 58 km (environ 70 % du linéaire total) ;il est impératif de prendre des mesures avec notamment le recours à des matériaux présentant un squelette suffisant pour donner une ossature au corps au remblai et limiter ainsi l'impact de la teneur en fines.

Ces matériaux sont dits charpentés et doivent présenter un comportement de « type granulaire » traduit par l'adoption des caractéristiques suivantes, mesurées après mise en œuvre :

- Granulométrie étalée et continue sur le 0/D.
- $D_{max} \leq 250$ mm pour les remblais et $D_{max} \leq 150$ mm pour la PST.
- Fraction des fines (passant à 2mm) inférieure à 30% sur 0/D.

De plus les matériaux rencontrés sur cette partie du tracé c'est à dire les micaschistes du lot 3 (du Pk6 au Pk31) et les matériaux du lot 4 (limon calcaire et colluvion du Pk0 au Pk30) nécessitent les dispositions constructives suivantes :

- Les remblais seront constitués de :

Matériaux charpentés sur toute la hauteur ou de matériaux non charpentés issus du déblai de l'emprise, sur les 3m supérieurs, encagés de part et d'autre du remblai par des matériaux charpentés sur une largeur de 3m. Le reste du remblai étant réalisé avec des matériaux charpentés.

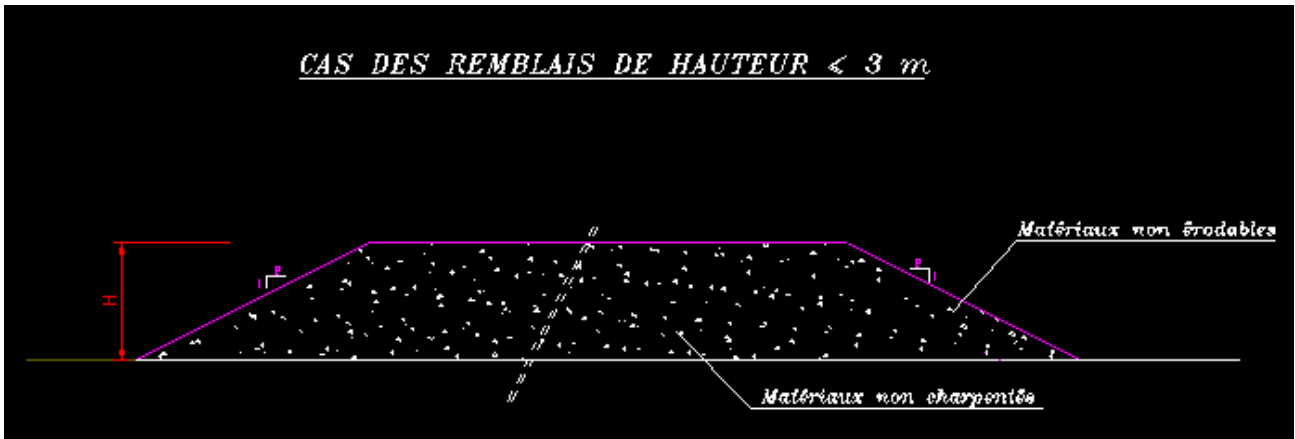
Pour les remblais déjà réalisés en matériaux non charpentés, il sera procédé à leur enlèvement sur une largeur de 3m de part et d'autre, et leur remplacement par des matériaux charpentés sur toute la hauteur réalisée. Le reste du remblai sera réalisé avec des matériaux charpentés dans le cas d'une hauteur dépassant 3m.

- Les encagements des remblais se feront moyennant des redans d'ancrage.
- Les remblais constitués de matériaux non charpentés, achevés et non couverts par la PST, seront décalottés sur 50cm et remplacés par des matériaux charpentés.

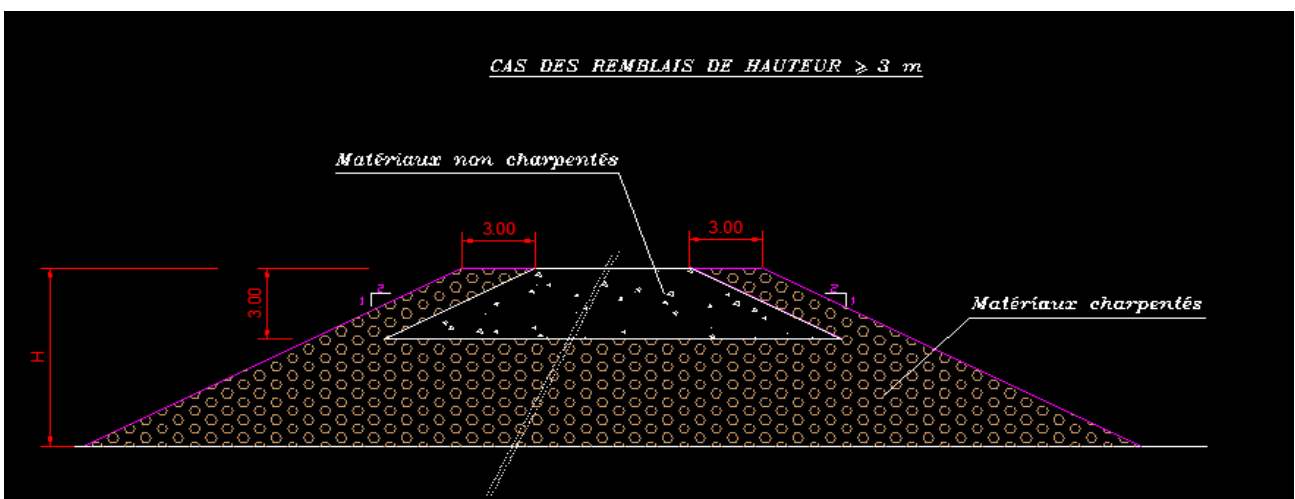
- La PST en contact des remblais en matériaux non charpentés sera humidifiée sur 50 cm afin d'augmenter son serrage.

- Les arases des déblais mica schisteux seront systématiquement purgées par des matériaux charpentés.

Enfin, il est nécessaire de s'assurer du caractère non érodable des matériaux de rive (pour encagement) c'est à dire respectant un IP > 10% et un passant à 2 mm inférieur à 40%.



« Figure 2 – Edification des remblais < 3 m »



« Figure 3– Edification des remblais >3 m »

3.4.4 Dispositions constructives retenues

L'application de ces recommandations conduit à la définition de dispositions constructives complémentaires prises en fonction des travaux en cours et d'enjeux importants tels que :

- Limiter l'impact sur l'environnement : au même titre que la protection des ressources en eau de la région, le démontage des remblais déjà constitués et la mise en dépôts des matériaux ajoutée à celle des déblais impropres au réemploi, aurait conduit à la constitution de nombreux dépôts répartis sur tout le tracé et de dimensions conséquentes .De même le recours massif à des emprunts aurait conduit à multiplier les sites d'extraction présentant des profondeurs importantes (> à 6m).
- Limiter l'impact sur les délais de réalisation : les travaux déjà engagés devaient être préservés au maximum en limitant les démontages et les dispositions à prendre devaient être édictées rapidement.

- Limiter l'impact financier dans le cadre des marchés de travaux (Augmentation des dépôts et emprunts) et en assurer le traitement contractuel.

Ainsi sur l'ensemble des sections concernées par ces problèmes, en plus des recommandations d'experts, les dispositions constructives complémentaires retenues sont:

- La modification des pentes des talus à 1V/2H au lieu de 2V/3H.
- L'opportunité de réutilisation des matériaux fins mais non érodable en remblai sur des hauteurs limitées à 3 m, sans encagement par des matériaux charpentés.
- La réduction du TPC à 3m , son revêtement par une couche de béton bitumineux et la suppression du drain central. Cette seule disposition a permis d'économiser le recours à 600 000 m³ de matériaux d'emprunt uniquement sur la section B4.
- L'adoption d'un profil en toit pour la PST au lieu d'un profil en W.
- Le revêtement de la BAU par une couche de béton bitumineux

Ces trois dernières dispositions permettent en outre de minimiser l'infiltration des eaux dans le corps du remblai pendant la période humide et réduisent d'autant le risque de déformation de la chaussée de l'autoroute en service , tout en ne perdant pas de vue qu'elles limitent aussi les effets de l'évapo-transpiration en empêchant les eaux infiltrées (une chaussée bitumineuse n'est jamais parfaitement étanche) de s'échapper pendant la période sèche, pouvant créer ainsi une faiblesse de portance de l'arase terrassement.

3.5 Dispositions relatives au mode d'exécution des travaux

L'adoption des dispositions techniques détaillées ci dessus en phase de chantier a nécessité un suivi accru des mouvements de terre et beaucoup de pragmatisme afin de mieux appréhender la réutilisation des matériaux, dont la qualité et la granulométrie fluctuaient d'une manière quasi permanente en fonction de la géologie du terrain, des profondeurs atteintes et des conditions d'extraction, de chargement et de mise en œuvre.

Des amendements continus des méthodologies d'extraction et du mode de réutilisation s'imposaient et ont conduit à l'adoption de certaines dispositions techniques, dont on peut citer notamment :

- Privilégier l'extraction des matériaux à l'aide de pelles au niveau des déblais et emprunts au lieu des Bulls prévus initialement.
- Eviter le brassage des matériaux lors des opérations chargement /transport afin de limiter leur évolution et la création de fractions fines excessives.
- Procéder au minage dès que des difficultés d'extraction soient recensées au niveau des pelles ou Bulls , sous réserve de vérifier l'impact économique de l'opération.
- Viser des D max > 250mm au niveau de l'extraction pour les matériaux charpentés évolutifs afin d'éviter une création excessive des fines lors du compactage, et préserver ainsi l'aspect charpenté du matériau.
- Introduire des ateliers d'élimination des gros blocs résiduels après compactage au niveau des remblais.
- Maintien du mètre excédentaire charpenté rocheux de l'encagement notamment au niveau des remblais mica schisteux comme mesure de protection supplémentaire en raison de la forte érodabilité des micaschistes.
- Protection des arases des déblais jusqu'à mise en œuvre de la couche de réglage afin d'éviter des chutes de portance du fait de l'érodabilité des matériaux et le dessèchement et l'attrition des sols.

4. BILAN DE L'EXPERIENCE

En conclusion, il s'agit là d'une première expérience de mise en œuvre en remblais autoroutiers moyennant des matériaux à l'état très sec pour laquelle il n'existe pas de prescriptions ou de référentiel, notamment lorsque la hauteur excède 3 mètres

Il conviendra donc d'effectuer un suivi dans le temps assez précis afin de repérer au plus tôt toute évolution locale telle que apparition de fissures (favorisant la pénétration d'eau), de faïençage (défaut de portance), érosion des talus (en pied et en tête), état général des chaussées,...

Ce suivi doit être effectué en fonction des saisons (pluviométrie et température) , des natures de matériaux , de l'agressivité du trafic ,.....et s'accompagnera d'un traitement éventuel par des mesures préventives tel que pontage de fissures, purge localisée, reprise du béton bitumineux , protection de talus (en zone inondables notamment) ,...

Globalement, et tenant compte des résultats de portance et densification obtenus ainsi que l'ensemble des dispositions arrêtées et appliquées en phase de chantier, il y a lieu de retenir essentiellement que cette expérience a permis une réutilisation massive des matériaux locaux dans leur état initial sans modifications majeures, mais moyennant certains amendements techniques pour les adapter aux exigences requises pour une infrastructure autoroutière.

Cette expérience a permis surtout d'épargner à l'environnement une défiguration intense du paysage local, de préserver les ressources en eaux très rares dans la région, d'éviter le transport de millions de M3 d'eaux sur de longues distances pour humidifier les matériaux secs, mais aussi et principalement une grande économie au niveau de la réalisation du projet.

Il y a lieu de retenir également les efforts déployés par ADM [2] que soit au niveau du stade des études ou de la réalisation des travaux ainsi que la mobilisation des différents intervenants pour trouver des solutions aux différents problèmes techniques posés en vue de maintenir son objectif initial de préserver l'environnement et les ressources en eau locaux, au lieu de s'orienter vers des issues plus faciles et réglementées à savoir l'humidification des matériaux dans le cadre du GTR.

Nous retiendrons finalement tous qu'au dessus de tout, cette expérience inédite a servi de planche d'essai réelle et à grande échelle pour la vulgarisation d'un nouveau procédé et innovation technique de réalisation jamais utilisés à ce jour sur un chantier autoroutier; dans d'autres régions du monde ou la réutilisation des matériaux locaux dans leur état initial pour l'édification des infrastructures routières est une nécessité pour pallier à la rareté des ressources naturelles du site.

RÉFÉRENCES

1. Guide technique – Réalisation des remblais et des couches de forme – LCPC/SETRA - Septembre 1992.
2. Autoroutes du Maroc.